



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 103 11 437 A1 2004.09.23

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 103 11 437.8
(22) Anmeldetag: 15.03.2003
(43) Offenlegungstag: 23.09.2004

nur Neuheit!

(51) Int Cl.: **C08L 77/00**
C08L 33/12, C08L 33/24, C08K 3/00,
C08J 5/10

(71) Anmelder:
Degussa AG, 40474 Düsseldorf, DE

(72) Erfinder:
Petter, Christoph, Dipl.-Ing., 21509 Gilde, DE;
Grebe, Maik, Dipl.-Ing., 44805 Bochum, DE;
Monsheimer, Sylvia, Dipl.-Ing., 45721 Haltern am
See, DE; Baumann, Franz-Erich, Dipl.-Chem. Dr.,
48249 Dülmen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Laser-Sinter-Pulver mit PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymeren, Verfahren zu dessen Herstellung und Formkörper, hergestellt aus diesem Laser-Sinterpulver**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Sinterpulver aus Polyamid, welches zusätzlich PMMI, PMMA oder Copolymere mit PMMI, insbesondere PMMI-PMMA-Copolymere, aufweist, die Verwendung dieses Sinterpulvers zum Laser-Sintern sowie Formkörper, hergestellt aus diesem Sinterpulver. Die mit dem erfindungsgemäßen Pulver gebauten Formkörper zeigen gegenüber herkömmlichen Produkten in ihrem Aussehen und in ihrer Oberflächenbeschaffenheit deutliche Vorteile, besonders was die Rauigkeit und Maßhaltigkeit beim selektiven Laser-Sinter(SLS)-Verfahren angeht.

Zudem weisen Formkörper, hergestellt aus erfindungsgemäßigem Sinterpulver, auch verbesserte mechanische Eigenschaften gegenüber Formkörpern auf Basis von herkömmlichen Polyamid 12-Pulvern auf, insbesondere beim Elastizitätsmodul und der Zugfestigkeit. Zudem weisen solche Formkörper auch eine den Spritzgussformkörpern nahekommende Dichte auf.

[0001] Die Erfindung betrifft ein Laser-Sinter-Pulver auf Basis von Polyamid, vorzugsweise Polyamid 12, welches PMMI- oder PMMA- oder PMMI-PMMA-Copolymer-(partikel) aufweist, ein Verfahren zur Herstellung dieses Pulvers sowie Formkörper, hergestellt durch selektives Laser-Sintern dieses Pulvers.

[0002] Die zügige Bereitstellung von Prototypen ist eine in der jüngsten Zeit häufig gestellte Aufgabe. Ein Verfahren, welches besonders gut für den Zweck des Rapid Prototypings geeignet ist, ist das selektive Laser-Sintern. Bei diesem Verfahren werden Kunststoffpulver in einer Kammer selektiv kurz mit einem Laserstrahl bestrahlt, wodurch die Pulver-Partikel, die von dem Laserstrahl getroffen werden, schmelzen. Die geschmolzenen Partikel verlaufen ineinander und erstarren schnell wieder zu einer festen Masse. Durch wiederholtes Belichten von immer neu aufgetragenen Schichten können mit diesem Verfahren dreidimensionale Körper auch komplexer Geometrie einfach und schnell hergestellt werden.

Stand der Technik

[0003] Das Verfahren des Laser-Sinterns (Rapid Prototyping) zur Darstellung von Formkörpern aus pulverförmigen Polymeren wird ausführlich in den Patentschriften US 6,138,948 und WO 96/06881 (beide DTM Corporation) beschrieben. Eine Vielzahl von Polymeren und Copolymeren kann für diese Anwendung eingesetzt werden, wie z. B. Polyacetat, Polypropylen, Polyethylen, Ionomere und Polyamid.

[0004] In der Praxis hat sich beim Laser-Sintern vor allem Polyamid 12-Pulver (PA 12) für die Herstellung von Formkörpern, insbesondere von technischen Bauteilen bewährt. Die aus PA-12 Pulver gefertigten Teile genügen den hohen Anforderungen, die bezüglich der mechanischen Beanspruchung gestellt werden und kommen damit in ihren Eigenschaften besonders nahe an die späteren Serienteile, die durch Extrusion oder Spritzgießen erstellt werden.

[0005] Gut geeignet ist dabei ein PA 12-Pulver mit einer mittleren Korngröße (d_{50}) von 50 bis 150 μm , wie man es beispielsweise gemäß DE 197 08 946 oder auch DE 44 21 454 erhält. Vorzugsweise wird dabei ein Polyamid 12 Pulver mit einer Schmelztemperatur von 185 bis 189 $^{\circ}\text{C}$, einer Schmelzenthalpie von 112 ± 17 kJ/mol und einer Erstarrungstemperatur von 138 bis 143 $^{\circ}\text{C}$, wie es in EP 0 911 142 beschrieben wird, verwendet.

[0006] Trotz der bereits guten Eigenschaften der bekannten Polymerpulver weisen mit solchen Pulvern hergestellte Formkörper noch immer einige Nachteile auf. Nachteilig bei den derzeit eingesetzten Polyamid-Pulvern sind insbesondere raue Oberflächen an den Formkörpern, die durch die Grenze zwischen auf- oder angeschmolzenen Partikeln und den umgebenden, nicht geschmolzenen Partikeln bestimmt wird. Ferner ist die Bildung von ausgedehnten Kristallitstrukturen beim Abkühlen der Formteile aus Sinterpulver aus Polyamid insofern nachteilig, dass hierdurch erhöhter Schwund oder sogar Verzug der Teile zu beobachten ist. Insbesondere größere Bauteile oder Bauteile, bei denen der Schwund teilweise behindert ist, neigen zum Verzug. Die sehr rauen Oberflächen erfordern eine Beschichtung, um ansprechende Teile zu erhalten. Zudem lässt auf Grund der Rauigkeit der Oberfläche die Auflösung von kleinen Strukturen zu wünschen übrig, da sie zusammen wachsen.

Aufgabenstellung

[0007] Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es deshalb, ein Laser-Sinter-Pulver bereitzustellen, welches eine bessere Maßhaltigkeit und Oberflächenbeschaffenheit bei den mittels selektivem Lasersintern hergestellten Teilen ermöglicht.

[0008] Überraschenderweise wurde nun gefunden, dass sich durch Zugabe von Poly(N-methylmethacrylid)(PMMI), Polymethylmethacrylat (PMMA) und/oder PMMI-PMMA-Copolymer zu Polyamiden Sinterpulver herstellen lassen, aus denen sich Formkörper durch Laser-Sintern produzieren lassen, die deutlich maßhaltiger und glatter sind als Formkörper aus herkömmlichen Sinter-Pulvern.

[0009] Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist deshalb ein Sinterpulver zum selektiven Laser-Sintern, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass das Pulver zumindest ein Polyamid und zumindest ein PMMI, zumindest ein PMMA und/oder zumindest ein PMMI-PMMA-Copolymer aufweist.

[0010] Ebenso ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von erfindungsgemäßem Sinterpulver, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest ein Polyamid mit PMMI, PMMA und/oder PMMA-PMMA-Copolymer zu einem Sinterpulver vermischt werden.

[0011] Außerdem sind Gegenstand der vorliegenden Erfindung Formkörper, hergestellt durch Laser-Sintern, welche dadurch gekennzeichnet sind, dass sie PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymere und zumindest ein Polyamid aufweisen.

[0012] Das erfindungsgemäße Sinterpulver hat den überraschenden Vorteil, dass aus ihm durch Laser-Sintern hergestellte Formkörper eine sehr glatte Oberfläche haben. Auch kleine Konturen, beispielsweise Schriftzüge, werden sehr gut aufgelöst. Damit eröffnen sich Anwendungsbereiche, die bisher aufgrund der schlech-

ten Auflösung nicht möglich waren.

[0013] Die sehr gute Maßhaltigkeit der Bauteile erhöht die Verfahrenssicherheit enorm, da es möglich ist, direkt im ersten Schritt die gewünschten Maße abzubilden. Dies ist bei der Verwendung herkömmlicher Pulver häufig nicht der Fall, weshalb Bauteile beim ersten Bauen verzogen sind, und das Sintern mit anderen Verarbeitungsparametern oder anderer Platzierung im Bauraum wiederholt werden muss.

[0014] Außerdem konnte überraschenderweise festgestellt werden, dass Formkörper, hergestellt aus dem erfindungsgemäßen Sinterpulver, gleichbleibend gute oder sogar verbesserte mechanische Eigenschaften aufweisen, insbesondere hinsichtlich Elastizitätsmodul, Zugfestigkeit und Dichte.

[0015] Das erfindungsgemäße Sinterpulver sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung wird nachfolgend beschrieben, ohne dass die Erfindung darauf beschränkt sein soll.

[0016] Das erfindungsgemäße Sinterpulver zum selektiven Laser-Sintern zeichnet sich dadurch aus, dass das Pulver zumindest ein Polyamid und zumindest ein PMMI, PMMA, PMMI-PMMA-Copolymer vorzugsweise ein PMMI-PMMA-Copolymer, aufweist. Als Polyamid weist das erfindungsgemäße Sinterpulver vorzugsweise ein Polyamid auf, welches pro Carbonamid-Gruppe mindestens 8 Kohlenstoffatome aufweist. Bevorzugt weist das erfindungsgemäße Sinterpulver mindestens ein Polyamid auf, welches 10 oder mehr Kohlenstoffatome pro Carbonamid-Gruppe aufweist. Ganz besonders bevorzugt weist das Sinterpulver zumindest ein Polyamid, ausgewählt aus Polyamid 612 (PA 612), Polyamid 11 (PA 11) und Polyamid 12 (PA 12) oder Copolyamide, basierend auf den vorgenannten Polyamiden, auf. Das erfindungsgemäße Sinterpulver weist vorzugsweise ein unregelmäßiges Polyamid auf.

[0017] Für das Lasersintern ist insbesondere ein Polyamid 12 Sinterpulver geeignet, welches eine Schmelztemperatur von 185 bis 189 °C, vorzugsweise von 186 bis 188 °C, eine Schmelzenthalpie von 112 ± 17 kJ/mol, vorzugsweise von 100 bis 125 kJ/mol und eine Erstarrungstemperatur von 133 bis 148 °C, vorzugsweise von 139 bis 143 °C aufweist. Der Prozess für die Herstellung für die den erfindungsgemäßen Sinterpulvern zugrunde liegenden Polyamidpulver ist allgemein bekannt und kann im Fall von PA 12 z. B. den Schriften DE 29 06 647, DE 35 10 887, DE 35 10 897 und DE 44 21 454, deren Inhalt zum Offenbarungsgehalt der vorliegenden Erfindung gehören sollen, entnommen werden. Das benötigte Polyamidgranulat kann von verschiedenen Herstellern bezogen werden, beispielsweise wird Polyamid 12 Granulat von der Degussa AG unter dem Handelsnamen VESTAMID angeboten.

[0018] Ebenfalls besonders gut geeignet ist Polyamid 12, welches eine Schmelztemperatur von 185 bis 189 °C, vorzugsweise von 186 bis 188 °C, eine Schmelzenthalpie von 120 ± 17 kJ/mol, vorzugsweise von 110 bis 130 kJ/mol und eine Erstarrungstemperatur von 130 bis 140 °C, vorzugsweise von 135 bis 138 °C und vorzugsweise auch eine Kristallisationstemperatur nach einer Alterung von 135 bis 140 °C aufweist. Die Ermittlung dieser Messwerte erfolgte wie in EP 0 911 142 beschrieben mittels DSC. Die Alterung erfolgte durch Lagerung im Vakuumtrockenschrank VT 5142 EK der Firma Heraeus für 7 Tage bei 150 °C. Polyamid 12 Pulver, die solche Eigenschaften aufweisen, sind beispielsweise in DE 102 55 793 beschrieben und weisen bevorzugt Metallseifen auf.

[0019] Das erfindungsgemäße Sinterpulver weist bezogen auf die Summe der im Pulver vorhandenen Polymere vorzugsweise von 0,01 bis 30 Gew.-% an zumindest PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer, bevorzugt von 0,1 bis 20 Gew.-% PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer, besonders bevorzugt von 0,5 bis 15 Gew.-% PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer und ganz besonders bevorzugt von 1 bis 12 Gew.-% PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer, auf. Die angegebenen Bereiche beziehen sich dabei auf den Gesamtgehalt an PMMI, PMMA und PMMI-PMMA-Copolymer im Pulver, wobei mit Pulver die gesamte aus Komponenten bestehende Menge gemeint ist. Das erfindungsgemäße Sinterpulver kann eine Mischung von PMMI-, PMMA- und/oder PMMI-PMMA-Copolymerpartikeln und Polyamidpartikeln aufweisen oder aber Polyamidpartikel bzw. -pulver, welche eingearbeitetes PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer aufweisen. Bei einem Anteil an PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer von unter 0,01 Gew.-% bezogen auf die Summe der im Pulver vorhandenen Polymere nimmt der gewünschte Effekt der Maßhaltigkeit und der Oberflächengüte deutlich ab. Bei einem Anteil an PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer von über 30 Gew.-% bezogen auf die Summe der im Pulver vorhandenen Polymere verschlechtern sich die mechanischen Eigenschaften wie z. B. die Reißdehnung der aus solchen Pulvern hergestellten Formkörper deutlich.

[0020] Weist das Sinterpulver eine Mischung von Polyamidpartikeln und PMMI-, PMMA- und/oder PMMI-PMMA-Copolymerpartikeln auf, so weisen Polyamidpartikel vorzugsweise eine mittlere Partikelgröße von 10 bis 250 µm, vorzugsweise von 40 bis 100 µm und besonders bevorzugt von 45 bis 80 µm auf. Die PMMI-, PMMA- und/oder PMMI-PMMA-Copolymerpartikel weisen vorzugsweise eine Partikelgröße auf, die die mittlere Korngröße d_{50} der Polyamidpartikel bzw. -pulver um nicht mehr als 20 %, vorzugsweise um nicht mehr als 15 % und ganz besonders bevorzugt um nicht mehr als 5 % über- bzw. unterschreiten. Die Korngröße ist insbesondere limitiert durch die zulässige Bauhöhe bzw. Schichtdicke in der Laser-Sinter-Apparatur.

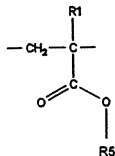
[0021] Weist das Sinterpulver Partikel auf, die sowohl Polyamid als auch zumindest ein PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer aufweisen, so beträgt die mittlere Korngröße d_{50} der Partikel vorzugsweise

von 10 bis 250 µm, vorzugsweise von 40 bis 100 µm und besonders bevorzugt von 45 bis 80 µm.

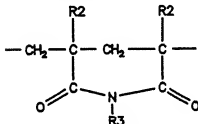
[0022] Die im erfindungsgemäßen Sinterpulver enthaltenen Poly(N-methylmethacrylimate) (PMMI), Polymethylmethacrylate (PMMA) und/oder PMMI-PMMA-Copolymere sind vorzugsweise Copolymere von PMMI und PMMA, welches durch teilweise Cydoimidisierung des PMMA hergestellt werden. (PMMI, welches durch Teilimidisierung von PMMA hergestellt wird, wird üblicherweise so hergestellt, dass maximal 83 % des eingesetzten PMMA imidiert werden. Das dabei entstehende Produkt wird als PMMI bezeichnet, ist streng genommen aber ein PMMI-PMMA-Copolymer.) Sowohl PMMA als auch PMMI oder PMMI-PMMA-Copolymere sind kommerziell erhältlich, z. B. unter dem Markennamen Plexiglas oder Pleximid der Firma Röhm. Ein beispielhaftes Copolymer (Pleximid 8803) hat 33 % MMI-Einheiten, 54,4 % MMA-Einheiten, 2,6 % Methacrylsäureeinheiten und 1,2 % Anhydrideinheiten.

[0023] Als Poly(N-methylmethacrylimate) können insbesondere solche eingesetzt werden, die mindestens die nachstehenden Zusammensetzungen aufweisen:

- i) 14 bis 85 Gew.-Teile, vorzugsweise
30 bis 70 Gew.-Teile



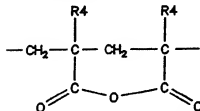
- ii) 10 bis 75 Gew.-Teile, vorzugsweise
20 bis 40 Gew.-Teile



- iii) 0 bis 15 Gew.-Teile



- iv) 1 bis 20 Gew.-Teile, vorzugsweise
2 bis 12 Gew.-Teile



[0024] In den genannten Formeln bedeuten

R1 bis R5 gleiche oder verschiedene aliphatische oder alicyclische Reste mit 1 bis 40 C-Atomen, bevorzugt -CH₃.

[0025] Die Copolymere werden als Polymethacrylimate, manchmal auch als Polyglutarimide bezeichnet. Es handelt sich hierbei um Polymethyl(meth)acrylate, bei denen zwei benachbarte Carboxyl(at)gruppen zu einem cyclischen Säureimid umgesetzt worden sind. Die Imidbildung wird bevorzugt mit Ammoniak bzw. primären

Aminen, wie z. B. Methylamin, durchgeführt.

[0026] Die Produkte sowie ihre Herstellung sind bekannt (Hans R. Kricheldorf, Handbuch of Polymer Synthesis, Part A, Verlag Marcel Dekker Inc. New York – Basel – Hongkong, S. 223 f.; H. G. Elias, Makromoleküle, Hühig und Wepf Verlag Basel – Heidelberg – New York; US-PSS 2 146 209, 4 246 374).

[0027] Erfindungsgemäßes Sinterpulver kann Rieselhilfen oder auch weitere Hilfsstoffe und/oder Füllstoffe und/oder Pigmente aufweisen. Solche Hilfsstoffe können z. B. pyrogenes Siliziumdioxid oder auch gefällte Kieselsäuren sein. Pyrogenes Siliziumdioxid (pyrogene Kieselsäuren) wird zum Beispiel unter dem Produktnamen Aerosil®, mit unterschiedlichen Spezifikationen, durch die Degussa AG angeboten. Vorzugsweise weist erfindungsgemäßes Sinterpulver weniger als 3 Gew.-%, vorzugsweise von 0,001 bis 2 Gew.-% und ganz besonders bevorzugt von 0,05 bis 1 Gew.-% solcher Hilfsstoffe bezogen auf die Summe der vorhandenen Polymere, also der Summe aus Polyamiden, PMMA, PMMI, und/oder PMMI-PMMA-Copolymeren auf. Die Füllstoffe können z. B. Glas-, Aluminium-, Metall- oder Keramikpartikel, wie z. B. massive oder hohle Glaskugeln, Stahlkugeln oder Metallgrieß oder auch Buntpigmente, wie z. B. Übergangsmetalloxide sein.

[0028] Die Füllstoffpartikel weisen dabei vorzugsweise eine kleinere oder ungefähr gleich große mittlere Korngröße wie die Partikel der Polyamide auf. Vorzugsweise sollte die mittlere Korngröße d_{50} der Füllstoffe die mittlere Korngröße d_{50} der Polyamide um nicht mehr als 20 %, vorzugsweise um nicht mehr als 15 % und ganz besonders bevorzugt um nicht mehr als 5 % überschreiten. Die Partikelgröße ist insbesondere limitiert durch die zulässige Bauhöhe bzw. Schichtdicke in der Laser-Sinter-Apparatur.

[0029] Vorzugsweise weist erfindungsgemäßes Sinterpulver weniger als 70 Gew.-%, bevorzugt von 0,001 bis 60 Gew.-%, besonders bevorzugt von 0,05 bis 50 Gew.-% und ganz besonders bevorzugt von 0,5 bis 25 Gew.-% solcher Füllstoffe bezogen auf die Summe der vorhandenen Polymere auf, so dass der Volumenanteil der Polymere in jedem Fall größer 50 % beträgt.

[0030] Beim Überschreiten der angegebenen Höchstgrenzen für Hilfs- und/oder Füllstoffe kann es, je nach eingesetztem Füll- oder Hilfsstoff zu deutlichen Verschlechterungen der mechanischen Eigenschaften von Formkörpern kommen, die mittels solcher Sinterpulver hergestellt wurden. Die Überschreitung kann außerdem zu einer Störung der Eigenabsorption des Laserlichts durch das Sinterpulver führen, so dass ein solches Pulver für das selektive Lasersintern nicht mehr einsetzbar ist.

[0031] Die Herstellung der erfindungsgemäßen Sinterpulver ist einfach möglich und erfolgt bevorzugt gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung von erfindungsgemäßem Sinterpulver, welches sich dadurch auszeichnet, dass zumindest ein Polyamid mit zumindest einem PMMI oder PMMA oder PMMI-PMMA-Copolymer vermischt wird. Das Mischen kann Trocken oder in Suspension erfolgen. Vorzugsweise wird ein z. B. durch Umfüllung und/oder Vermahlung erhaltenes Polyamidpulver, welches auch noch anschließend fraktioniert werden kann, mit PMMI, PMMA und/oder PMMA-PMMA-Copolymer-Pulver vermischt. Das Polyamid kann weiterhin mit PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer zu einem Sinterpulver compoundiert und anschließend vermahlen werden. Ebenso ist als weitere Ausführungsform möglich, dass das Polyamid in Gegenwart eines Lösungsmittels suspendiert wird, in welchem das PMMI oder PMMA oder PMMI-PMMA-Copolymer zumindest eine gewisse Löslichkeit aufweist, mit PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer vermischt wird und das Dispergier-/Lösungsmittel anschließend wieder entfernt wird.

[0032] Eine feinteilige Vermischung kann in der einfachsten Ausführungsart des erfindungsgemäßen Verfahrens beispielsweise durch Aufmischen fein gepulverten PMMI-, PMMA-, oder PMMI-PMMA-Copolymerpulvers auf das trockene Polyamidpulver in schnelllaufenden mechanischen Mischern erfolgen oder als Naßmischung in langsamlaufenden Aggregaten – z. B. Schaufeltrockner oder umlaufenden Schneckenmischern (sog. Naßmischern) – oder durch Dispergieren von PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer und Polyamid (-pulvers) in einem organischen Lösungsmittel und anschließende destillative Entfernung des Lösungsmittels. Für diese Variante geeignete Lösungsmittel sind beispielsweise niedere Alkohole mit 1 bis 3 C-Atomen, bevorzugt kann Ethanol als Lösungsmittel eingesetzt werden.

[0033] Das Polyamidpulver kann bei einer dieser ersten Varianten des erfindungsgemäßen Verfahrens ein bereits als Lasersinterpulver geeignetes Polyamidpulver sein, dem einfach feinteilige PMMI-, PMMA-, oder PMMI-PMMA-Copolymerpartikel zugemischt werden. Die Partikel weisen dabei vorzugsweise eine ungefähr gleich große mittlere Korngröße wie die Partikel der Polyamide auf. Vorzugsweise sollte die mittlere Korngröße d_{50} der PMMI-, PMMA-, oder PMMI-PMMA-Copolymerpartikel die mittlere Korngröße d_{50} der Polyamidpulver um nicht mehr als 20 %, vorzugsweise um nicht mehr als 15 % und ganz besonders bevorzugt um nicht mehr als 5 % über- bzw. unterschreiten. Die Korngröße ist insbesondere limitiert durch die zulässige Bauhöhe bzw. Schichtdicke in der Laser-Sinter-Apparatur.

[0034] Es ist ebenso möglich, herkömmliche Sinterpulver mit erfindungsgemäßen Sinterpulvern zu mischen. Auf diese Weise lassen sich Sinterpulver mit einer optimalen Kombination von mechanischen und optischen Eigenschaften herstellen. Das Verfahren zur Herstellung solcher Mischungen kann z. B. DE 34 41 708 entnommen werden.

[0035] In einer weiteren Verfahrensvariante wird PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer mit einem, vorzugsweise geschmolzenem Polyamid durch Eincompoundieren gemischt und das erhaltene PMMI-, PM-

MA- und/oder PMMI-Copolymer-haltige Polyamid wird durch Kalt-Plasmation und gegebenenfalls Reaktionsierung zu Lasersinterpulver verarbeitet. Üblicherweise wird bei der Compoundierung ein Granulat erhalten, welches anschließend zu Sinterpulver, in der Regel durch Kaltmahlung, verarbeitet wird. Die Verfahrensvariante, bei welcher PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer eincompoundiert wird, hat gegenüber dem reinen Mischungsverfahren den Vorteil, dass eine homogenere Verteilung des PMMI bzw. PMMA bzw. PMMI-PMMA-Copolymer in dem Sinterpulver erzielt wird.

[0036] Gegebenenfalls kann zur Verbesserung des Kieselverhaltens dem erfindungsgemäßen Pulver eine geeignete Rieselhilfe, wie pyrogenes Aluminiumoxid, pyrogenes Siliziumdioxid oder pyrogenes Titandioxid, dem gefällten oder kaltgemahlten Pulver äußerlich zugesetzt werden.

[0037] In einer weiteren Verfahrensvariante wird PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer in Form von Pulver bereits beim Fällprozess dem Polyamid zugemischt, vorzugsweise in der frisch ausgefallenen Suspension. Ein solcher Fällprozess ist beispielsweise in DE 35 10 687 und DE 29 06 647 beschrieben.

[0038] Der Fachmann kann diese Verfahrenvariante in abgewandelter Form auch auf andere Polyamide anwenden, wobei Polyamid und Lösemittel so gewählt werden müssen, dass sich das Polyamid bei einer erhöhten Temperatur in dem Lösemittel löst und dass das Polyamid bei einer niedrigeren Temperatur und/oder beim Entfernen des Lösemittels aus der Lösung ausfällt. Durch Zugabe von PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer, vorzugsweise in Form von Partikeln, zu dieser Lösung und anschließende Trocknung werden die entsprechenden erfindungsgemäßen Polyamid-Lasersinterpulver erhalten.

[0039] Als PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymere können handelsübliche Produkte, die beispielsweise bei der Fa. Röhm unter dem Handelsnamen Pleximid® oder Plexiglas® bezogen werden können, bzw. die oben beschriebenen eingesetzt werden.

[0040] Zur Verbesserung der Verarbeitungsfähigkeit oder zur weiteren Modifikation des Sinterpulvers können diesem anorganische Pigmente, insbesondere Buntpigmente, wie z. B. Übergangsmetalloxide, Stabilisatoren, wie z. B. Phenole, insbesondere sterisch gehinderte Phenole, Verlaufs- und Rieselhilfsmittel, wie z. B. pyrogene Kieselsäuren sowie Füllstoffpartikel zugegeben werden. Vorzugsweise wird, bezogen auf das Gesamtgewicht an Polyamiden im Sinterpulver, soviel dieser Stoffe den Polyamiden zugegeben, dass die für das erfindungsgemäße Sinterpulver angegebenen Konzentrationen für Füll- und/oder Hilfsstoffe eingehalten werden.

[0041] Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind auch Verfahren zur Herstellung von Formkörpern durch selektives Lasersintern bei denen erfindungsgemäße Sinterpulver, die Polyamid und PMMA oder PMMI, also PMMA, welches teilweise imidisiert wurde, oder Copolymere davon, vorzugsweise in partikulärer Form aufweisen, eingesetzt werden. Insbesondere ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von Formkörpern durch selektives Lasersintern eines PMMI-, PMMA-, oder PMMI-PMMA-Copolymer-haltigen Fällpulvers auf Basis eines Polyamid 12, welches eine Schmelztemperatur von 185 bis 189 °C, eine Schmelzenthalpie von 112 ± 17 J/g und eine Erstarrungstemperatur von 136 bis 145 °C aufweist und dessen Verwendung in US 6,245,281 beschrieben wird.

[0042] Die Laser-Sinter-Verfahren sind hinlänglich bekannt und beruhen auf dem selektiven Sintern von Polymerpartikeln, wobei Schichten von Polymerpartikeln kurz einem Laserlicht ausgesetzt werden und so die Polymerpartikel, die dem Laserlicht ausgesetzt waren, miteinander verbunden werden. Durch die aufeinanderfolgende Versinterung von Schichten von Polymerpartikeln werden dreidimensionale Objekte hergestellt. Einzelheiten zum Verfahren des selektiven Laser-Sinterns sind z. B. den Schriften US 6,136,948 und WO 96/06881 zu entnehmen.

[0043] Die erfindungsgemäßen Formkörper, die durch selektives Laser-Sintern hergestellt werden, zeichnen sich dadurch aus, dass sie zumindest PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer und zumindest ein Polyamid aufweisen. Vorzugsweise weisen die erfindungsgemäßen Formkörper zumindest ein Polyamid auf, welches pro Carbonamid-Gruppe mindestens 8 Kohlenstoffatome aufweist. Ganz besonders bevorzugt weisen erfindungsgemäße Formkörper zumindest ein Polyamid 612, Polyamid 11 und/oder ein Polyamid 12 und PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymere auf.

[0044] Das in dem erfindungsgemäßen Formkörper vorhandene PMMI basiert auf PMMA, welches teilweise cycloimidisiert wurde, oder PMMA, oder Copolymerem aus PMMI und PMMA. Vorzugsweise weist der erfindungsgemäße Formkörper, bezogen auf die Summe der im Formkörper vorhandenen Polymere, von 0,01 bis 30 Gew.-% an PMMI, PMMA, und/oder PMMI-PMMA-Copolymer, bevorzugt von 0,1 bis 20 Gew.-%, besonders bevorzugt von 0,5 bis 15 Gew.-% und ganz besonders bevorzugt von 1 bis 12 Gew.-% auf. Maximal beträgt der Anteil an PMMI, PMMA und PMMI-PMMA-Copolymer 30 Gew.-% bezogen auf die Summe der im Formkörper vorhandenen Polymere.

[0045] Die Formkörper können außerdem Füllstoffe und/oder Hilfsstoffe und/oder Pigmente, wie z. B. thermische Stabilisatoren und/oder Oxidationsstabilisatoren wie z. B. sterisch gehinderte Phenolderivate aufweisen. Füllstoffe können z. B. Glas-, Keramikpartikel und auch Metallpartikel wie zum Beispiel Eisenkugeln, bzw. entsprechende Hohlkugeln sein. Bevorzugt weisen die erfindungsgemäßen Formkörper Glaspartikel, ganz besonders bevorzugt Glaskugeln auf. Vorzugsweise weisen erfindungsgemäße Formkörper weniger als 3 Gew.-%, vorzugsweise von 0,001 bis 2 Gew.-% und ganz besonders bevorzugt von 0,05 bis 1 Gew.-% solcher Hilfsstoff-

fe bezogen auf die Summe der vorhandenen Polymere auf. Ebenso bevorzugt weisen erfindungsgemäße Formkörper weniger als 75 Gew.-%, bevorzugt von 0,001 bis 70 Gew.-%, besonders bevorzugt von 0,05 bis 50 Gew.-% und ganz besonders bevorzugt von 0,5 bis 25 Gew.-% solcher Füllstoffe bezogen auf die Summe der vorhandenen Polymere auf.

[0046] Die folgenden Beispiele sollen das erfindungsgemäße Sinterpulver sowie dessen Verwendung beschreiben, ohne die Erfindung auf die Beispiele einzuschränken.

[0047] Die in den nachfolgenden Beispielen durchgeführte Bestimmung der BET-Oberfläche erfolgte nach DIN 66131. Die Schüttdichte wurde mit einer Apparatur gemäß DIN 53466 ermittelt. Die Messwerte der Laserbeugung wurden an einem Malvern Mastersizer S, Ver. 2.18 erhalten. Die Strahlkompensation wird nach einer internen Vorschrift ermittelt und ist ein Maß für die Abbildung der Genauigkeit. Je geringer sie ist, desto genauer kann eine Struktur mit dem Laserstrahl abgebildet werden. Bei dieser Methode werden mit einer Laser-Sintermaschine Stäbe unterschiedlicher Länge gebaut, welche 10 mm breit und 3 mm dick sind. Die Längen betragen 5, 8, 10, 20, 50 und 100 mm. Zur leichteren Handhabung sind sie durch einen schmalen Steg miteinander verbunden. Die Bauteile sind in den vier Ecken des Bauraums platziert. Dabei werden die inneren Sets jeweils um 90 Grad zueinander gedreht. Die Längen der Stäbe werden mit Schieblehren vermessen, jeweils an den Seiten und mittig, die Messwerte der 4 Bauteile gemittelt, und anschließend Soll- und Istwerte gegeneinander graphisch aufgetragen. Nach Bestimmen einer Ausgleichsgerade durch diese Punkte erhält man den Wert für die Strahlkompensation (in mm); das ist der Schnittpunkt, um den die Ausgleichsgerade aus dem Nullpunkt verschoben ist (konstanter Wert der Geradengleichung).

Ausführungsbeispiel

Beispiel 1: Vergleichsbeispiel (nicht erfindungsgemäß):

[0048] 40 kg unregelmäßiges, durch hydrolytische Polymerisation hergestelltes PA 12 hergestellt in Anlehnung an DE 35 10 691, Beispiel 1 mit einer relativen Lösungsviskosität η_{rel} von 1.61 (in angesäuertem m-Kresol) und einem Endgruppengehalt von 72 mmol/kg COOH bzw. 68 mmol/kg NH₂ werden mit 0,3 kg IRGANOX® 1098 in 350 l Ethanol, vergällt mit 2-Butanon und 1 % Wassergehalt, innerhalb von 5 Stunden in einem 0,8 m³-Rührkessel (D = 90 cm, h=170cm) auf 145 °C gebracht und unter Rühren (Blattrührer, d = 42 cm, Drehzahl = 91 Upm) 1 Stunde bei dieser Temperatur belassen. Anschließend wird die Manteltemperatur auf 120 °C reduziert und mit einer Kühlrate von 45 K/h bei der derselben Rührerdrehzahl die Innentemperatur auf 120 °C gebracht. Von jetzt an wird bei gleicher Kühlrate die Manteltemperatur 2K – 3K unter der Innentemperatur gehalten. Die Innentemperatur wird mit gleicher Kühlrate auf 117 °C gebracht und dann 60 Minuten konstant gehalten. Danach wird mit einer Kühlrate von 40 K/h die Innentemperatur auf 111 °C gebracht. Bei dieser Temperatur setzt die Fällung ein, erkennbar an der Wärmeentwicklung. Nach 25 Minuten fällt die Innentemperatur ab, was das Ende der Fällung anzeigt. Nach Abkühlen der Suspension auf 75 °C wird die Suspension in einen Schaufeltrockner überführt. Das Ethanol wird daraus bei laufendem Rührwerk bei 70 °C/400mbar abdestilliert, und der Rückstand anschließend bei 20 mbar/ 85 °C 3 Stunden nachgetrocknet.

Siebanalyse: < 32 µm: 7 Gew.-%

< 40 µm: 16 Gew.-%

< 50 µm: 44 Gew.-%

< 63 µm: 85 Gew.-%

< 80 µm: 92 Gew.-%

< 100 µm: 100 Gew.-%

BET: 6,9m²/g

Schüttdichte: 429g/l

Laserbeugung: d(10 %): 42µm, d(50 %): 69µm, d(90 %): 91µm

Beispiel 2: Einarbeitung von PMMI PLEXimid 8813 durch Compoundierung und anschließende Vermahlung

[0049] 40 kg geregeltes, durch hydrolytische Polymerisation hergestelltes PA 12, Typ Vestamid L1600 der Degussa AG, werden mit 0,3 kg IRGANOX® 245 und 0,8 kg PMMI (Pleximid 8813, Röhm GmbH) bei 225°C in einer Zweiwellen-Compoundiermaschine (Berstorf ZE25) extrudiert und als Strang granuliert. Das Granulat wird anschließend bei tiefen Temperaturen (-40 °C) in einer Prallmühle auf eine Korngrößenverteilung zwischen 0 und 120 µm vermahlen. Anschließend wurden 40 g Aerosil 200 (0,1 Teile) bei Raumtemperatur und 500 U/min 3 Minuten untergemischt.

Beispiel 3: Einarbeitung von PMMI Pleximid 8813 im Dry Blend

[0050] Zu 1900 g (95 Teile) Polyamid 12-Pulver, hergestellt gemäß DE 29 06 647, Beispiel 1 mit einem mitt-

ieren Rohmischungen aus 99,999999% (99,999999% Laserabtragung) und einer strahlhärte gemäss DIN EN 4740 von 700 g wird 100 g (5 Teile) Pleximid 8813 im Dry-Blend-Verfahren unter Benutzung eines Henschelmischers FML10/KM23 bei 700 U/min bei 50 °C in 3 Minuten gemischt. Anschließend wurden 2 g Aerosil 200 (0,1 Teile) bei Raumtemperatur und 500 U/min in 3 Minuten untergemischt.

[0051] Unter den selben Bedingungen wurden weitere Pulver hergestellt, die 0, 1, 3, 4 und 10 % Pleximid 8813 aufweisen.

Weiterverarbeitung:

[0052] Die Pulver aus dem Beispiel 3 wurden auf einer Laser-Sinter-Maschine zu den wie oben beschriebenen Probekörpern für die Bestimmung der Strahlkompensation und zu einem Mehrzweckstab nach ISO 3167 verbaut. An letzteren Bauteilen wurden mechanische Werte mittels Zugversuch nach EN ISO 527 ermittelt (Tabelle 1). Die Herstellung erfolgte jeweils auf einer Laser-Sinter-Maschine EOSINT P360 der Firma EOS GmbH.

Tabelle 1: Proben aus Beispiel 3

Anteil PMMI	Strahl- kompensation	E-Modul N/mm ²	Reißdehnung %	Zugstabdicke mm	Zugstabbreite mm	Zugfestigkeit N/mm ²
0 %	0,82	1633	20,7	4,38	10,61	46,6
1 %	0,79	1646	19,1	4,34	10,60	46,1
3 %	0,77	1790	16,9	4,21	10,63	49,2
4 %	0,77	1812	14,6	4,05	10,59	49,4
10 %	0,73	1839	7,9	4,07	10,51	47,7

[0053] Es ist deutlich zu erkennen, dass durch vermehrte Zugabe von PMMI zum Laser-Sinter-Pulver Formkörper hergestellt werden können, die eine deutlich geringere Strahlkompensation aufweisen. Durch die vermehrte Zugabe von PMMI wird außerdem eine Erhöhung des Elastizitätsmoduls erzielt, wobei gleichzeitig die Reißdehnung verringert wird. Die Maße der Formkörper nähern sich mit steigendem Gehalt an PLEX 8813 immer mehr dem Sollwert an, wobei der Sollwert für die Zugstabdicke 4 mm und der Sollwert für die Zugstabbreite 10 mm beträgt.

Patentansprüche

1. Sinterpulver zum selektiven Laser-Sintern, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Pulver zumindest ein Polyamid und zumindest ein Poly(N-methylmethacrylimid)(PMMI), ein Polymethylmethacrylat (PMMA) und/oder ein PMMI-PMMA-Copolymer aufweist.
2. Sinterpulver nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass es ein Polyamid aufweist, welches pro Carbonamid-Gruppe zumindest 8 Kohlenstoffatome aufweist.
3. Sinterpulver nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass es ein unregelmäßiges Polyamid aufweist.
4. Sinterpulver nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass es Polyamid 612, Polyamid 11 oder Polyamid 12 oder Copolyamide basierend auf den vorgenannten Polyamiden aufweist.
5. Sinterpulver nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Pulver bezogen auf die Summe der im Pulver vorhandenen Polymere von 0,01 bis 30 Gew.-% PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer aufweist.
6. Sinterpulver nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Pulver bezogen auf die Summe der im Pulver vorhandenen Polymere von 0,5 bis 15 Gew.-% PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer aufweist.
7. Sinterpulver nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Pulver eine Mischung von PMMI-, PMMA-, oder PMMI-PMMA-Copolymerpartikeln und Polyamidpartikeln aufweist.
8. Sinterpulver nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Pulver in Polyamidpartikeln eingearbeitetes PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer aufweist.

9. Sinterpulver nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass es zusätzlich Hilfsstoffe und/oder Füllstoff und/oder Pigmente aufweist.
10. Sinterpulver nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass es als Hilfsstoff Rieselhilfsmittel aufweist.
11. Sinterpulver nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass es als Füllstoff Glaspartikel aufweist.
12. Sinterpulver nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass es als Füllstoff Aluminiumpartikel aufweist.
13. Verfahren zur Herstellung von Sinterpulver gemäß zumindest einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Polyamid mit einem PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer vermischt wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass durch Umfällung oder Vermahlung erhaltenes Polyamidpulver in organischem Lösungsmittel gelöst oder suspendiert oder in Masse mit PMMI, PMMA oder PMMI-PMMA-Copolymer vermischt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das PMMI, PMMA und/oder PMMI-PMMA-Copolymer in eine Schmelze von Polyamid eincompoundiert werden und das erhaltene Gemisch durch Vermahlung zu Lasersinterpulver verarbeitet wird.
16. Verfahren zur Herstellung von Formkörpern durch selektives Lasersintern von Sinterpulver gemäß zumindest einem der Ansprüche 1 bis 12.
17. Formkörper, hergestellt durch Laser-Sintern dadurch gekennzeichnet, dass er zumindest PMMI, PMMA oder PMMI-PMMA-Copolymer und zumindest ein Polyamid aufweist.
18. Formkörper nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass er ein Polyamid aufweist, welches pro Carbonamid-Gruppe zumindest 8 Kohlenstoffatome aufweist.
19. Formkörper nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass er Polyamid 612, Polyamid 11 und/oder Polyamid 12 aufweist.
20. Formkörper nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass er bezogen auf die Summe der vorhandenen Polymere von 0,01 bis 30 Gew.-% PMMI oder PMMA oder PMMI-PMMA-Copolymer aufweist.
21. Formkörper nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass er bezogen auf die Summe der vorhandenen Polymere von 0,5 bis 15 Gew.-% PMMI oder PMMA oder PMMI-PMMA-Copolymer aufweist.
22. Formkörper nach zumindest einem der Ansprüche 17 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass er Füllstoffe und/oder Pigmente aufweist.
23. Formkörper nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass einer der Füllstoffe Glaspartikel sind.
24. Formkörper nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass einer der Füllstoffe Aluminiumpartikel sind.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen